

Sidosaineiden ja raekokojen vaikutus munankuorikomposiitin kestävyYTEEN

Riikka Savolainen

Materiaalitutkimus -kurssin tutkimusraportti

Sisustusarkkitehtuurin pääaine

Taiteiden ja suunnittelun korkeakoulu

Aalto-yliopisto

30.3.2020

TIIVISTELMÄ

Tässä tutkimuksessa valmistin munankuorikomposiittia ja tutkin eri raekokojen, sekä sidosaineiden vaikutusta sen kestävyYTEEN. Valitsin materiaaliksi kananmunan kuoret, koska ne ovat biohajoava jäte, jolla ei ole erityisempää käyttötarkoitusta. Halusin selvittää itselleni mahdollisia tulevia projekteja varten, miten munankuorikomposiittia valmistetaan ja millaisia ominaisuuksia sillä on.

Valmistin koepalat käyttäen kolmea eri raekokoa, sekä niiden yhdistelmää. Sidosaineina käytin perunatärkkelystä, agar agaria ja karboksimeetyliselluloosaa eli CMC:tä, koska halusin käyttää myös sidosaineena biohajoavaa materiaalia ja nämä vaihtoehdot olivat helposti saatavilla. Tein kaikista koeseoksista ohuemman (n.0,3cm) ja paksumman (n. 0,6cm) koepalan vertaillakseni eri paksuuksien murtumalujuutta. Vertailussa oli siis yhteensä 24 eri koepalaa. Tein kestävyyskokeet, jossa selvitin painon, joka sai koepalan hajoamaan.

Tutkimustuloksien mukaan vahvimmat sidosaineet olivat perunatärkkelys ja agar agar. CMC:tä sisältävät palat olivat selvästi heikompia. Kun vertaillaan keskenään eri raekokojen kestävyyttä, olivat keskisuuresta raekoosta tehdyt palat kestävimpiä ja pienimmästä raekoosta tehdyt palat yleisesti ottaen heikoimpia. Suurinta raekokoa sisältävien palojen tuloksissa oli eniten eroa ohuempien ja paksumpien versioiden välillä. Raekokojen sekoituksesta valmistetut palat eivät olleet erityisen heikkoja, mutta eivät erityisen kestäviäkään.

Tuloksissa oli kuitenkin epä johdonmukaisuutta ohuempien ja paksumpien koepalojen välillä erityisesti, kun sidosaineena oli perunatärkkelys. Tutkimuksen tulokset munankuorikomposiitin kestävyYDEN osalta ovat alustavia, koska luotettavamman tuloksen saisi valmistamalla useita samanlaisia koesarjoja ja testaamalla niiden kestävyYttä.

Avainsanat: *biokomposiitti, kananmunan kuori, munankuorikomposiitti, perunatärkkelys, agar agar, karboksimeetyliselluloosa*

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	2
1 JOHDANTO	4
2 TUTKIMUS	5
2.1 Materiaalit	5
2.2 Esivalmistelut	5
2.2.1 Kuorien esivalmistelut	5
2.2.2 Kuorien jauhaminen ja siivilöinti	6
2.2.3 Sidosaineiden valmistus	7
2.3 Koesarjojen valmistus	8
2.3.1 Perunatärkkelystä sisältävät koepalat	9
2.3.2 Agar agarista sisältävät koepalat	10
2.3.3 Karboksimeetylliselluloosaa sisältävät koepalat	11
2.3 Koesarjojen kestävyys testaus	12
3 TULOKSET	13
LÄHTEET	15

1 JOHDANTO

Biomateriaalit kiinnostavat minua ja löysin ohjeen biohajoavaan munankuorikomposiittiin, jonka kerrottiin muistuttavan keramiikkaa. (Kochhar, 2018) Kiinnostuin reseptistä ja halusin selvittää, kuinka kestävä biokomposiittia pystyn tekemään käyttäen kolmea eri raekokoja kananmunan kuorista ja sidosaineina perunatärkkelystä, agar agaria sekä karboksimeetyliselluloosaa. Tutkimukseni selvittää myös eri sidosaineiden ja kuorista jauhettujen raekokojen ominaisuuksia ja vaikutuksia biokomposiittiin.

Valitsin biokomposiittiini materiaaliksi kananmunan kuoren, koska se on jäte, jolle ei ole sen erityisempää käyttötarkoitusta. Kananmunan kuoria käytetään esimerkiksi lannoittamaan kasvien kasvualustaa, mutta kuoria jää paljon jätteeksi niin elintarviketeollisuudesta, kuin kotitalouksistakin. Kananmunan kuorilla on myös mielenkiintoisia ominaisuuksia. Kuoret ovat kovia, vaikka niiden rakenne onkin huokoinen ja tämän ansiosta kevyt.

Tulevaisuuden projekteja ajatellen olen kiinnostunut siitä, kuinka munankuorikomposiittia valmistetaan ja millaisia ominaisuuksia sillä on, jotta voisin mahdollisesti alkaa pohtia sille käyttötarkoitusta.

2 TUTKIMUS

Toteutin tutkimuksen tekemällä koesarjan käyttäen kolmea eri sidosainetta, kolmea eri raekokoa kananmunan kuorista ja näiden raekokojen yhdistelmää. Tein jokaisesta koepalasta ohuemman (n. 0,3cm) ja paksumman (n. 0,6cm) version vertaillakseni eri paksuuksien murtumalujuutta. Yhteensä koepaloja oli vertailussa siis 24. Koepalojen valmistuksen jälkeen testasin ja vertailin niiden kestävyyttä.

2.1 Materiaalit

Kananmunan kuori koostuu pääosin kalsiumkarbonaatista, mutta myös pienestä määrästä magnesiumia, fosforia ja valkuaisaineita. Kuoren huokoiseen rakenteeseen kuuluvat sen alla olevat kuorikalvot. Munankuoren laatuun ja kestävyysvaikutteet vaikuttavat kanojen rehun kalsium- ja D-vitamiinipitoisuus (Farmit.net, luettu 26.3.2020). Tutkimusta varten keräsin kananmunan kuoria omasta ja perheen käytöstä, sekä sain lähikahvila Kaisan cafe:sta muuten jätteeksi päätyviä munankuoria.

Sidosaineiksi valitsin perunatärkkelyksen, agar agarin ja karboksimeetyliselluloosan, koska halusin käyttää myös sidosaineena biohajoavaa materiaalia ja nämä vaihtoehdot olivat helposti saatavilla, sekä valmistettavissa. Perunatärkkelystä käytetään esimerkiksi paperiteollisuudessa sidosaineena ja pinnoitteena. Kun tärkkelystä keitetään se alkaa turpoamaan ja muodostuu geelimäinen koostumus. Näin tärkkelyksestä tulee sitova (Lehto, 2007). Agar agar on kasvipohjainen hyytelöimisaine, joka valmistetaan merilevästä. Karboksimeetyliselluloosaa eli CMC:tä käytetään laajasti elintarviketeollisuudessa lähinnä rakenteiden stabilointiin, sakeuttamiseen ja geelinmuodostukseen (Turkki, 2018).

2.2 Esivalmistelut

Esivalmisteluihin kuuluivat kuorien esivalmistelut, niiden jauhaminen ja siivilöinti, sekä sidosaineiden valmistaminen.

2.2.1 Kuorien esivalmistelut

Aloitin kuorien esikäsittelyn huuhtelemalla kananmunan kuoret. Vaikka kuoret säilyvät rikottuina pienemmässä tilassa, on niitä helpompi käsitellä isommissa osissa, esimerkiksi puolikkaina. Keitin kuoria 5 minuuttia samalla painellen niitä pinnan alle lastalla tappaakseni bakteerit. Keitettäessä veden

pintaan nousee valkoista vaahtoa, jota poistin vedestä lastalla. Kuorien sisään jää helposti vettä, joten keittämisen jälkeen kuorissa olevaa kuumaa vettä kannattaa varoa.

Kuorien jauhaminen oli helpompaa niiden ollessa kuivia, joten nopeutin kuorien kuivumista keittämisen jälkeen laittamalla ne kiertoilmauuniin 15 minuutiksi 60 asteeseen. Kuoret menevät helposti toistensa sisään, joten ennen kuivumaan laittamista erottelin kuoret toisistaan, jotta ne kuivuisivat paremmin.

2.2.2 Kuorien jauhaminen ja siivilöinti

Kuorien jauhaminen onnistui hyvin myös morttelilla, mutta prosessia nopeuttaakseni käytin jauhamiseen tehosekoitinta. Jauhamiseen riitti tehosekoittimella n. minuutti. Kuoret pölyävät hieman niitä jauhettaessa. Tämän jälkeen erottelin kuoret kolmeen eri raekokoon kahden eri siivilän avulla. Pienin raekoko on jauhomaista ja halkaisijaltaan alle 0,5mm, keskimäinen halkaisijaltaan n. 0,5-1mm ja isoin halkaisijaltaan n. 1,5mm-10mm kokoista rietta (kuva 1).



Kuva 1. Raekoot pienimmästä suurimpaan.

2.2.3 Sidosaineiden valmistus

Valmistin perunatärkkelyksestä geelin keittämällä perunajauhoa vedessä. Kokeilin ensin keittää 4dl vettä ja sitten lisätä 2dl perunajauhoa kiehuvaan veteen. Vaikka yritin sekoittaa seosta samalla, perunajauho jäi paakuiksi veteen, eikä geelistä tullut tasaista. Kun sekoitin perunajauhot ensin kylmään veteen vähän kerrallaan lisäten ja sitten keitin seosta sekoittaen noin 5 minuutin ajan, tuli geelistä tasaista. Valmis geeli on todella paksua ja tahmaista.

Sekoitin puoleen desilitraan agar agaria desilitran kylmää vettä ja kiehautin seoksen samalla sekoittaen, kunnes muodostui oranssi, koostumukseltaan tahnamainen seos. Seos alkoi heti jäähtyessään jähmettyä, joten se piti sekoittaa kuoriin nopeasti. Tätä sidosainetta en pystynyt tekemään isompaa määrää kerralla kuten toisia sidosaineita, vaan tein sen jokaista koepalaa varten erikseen, jotta sidosaine ei jäähtyisi ennen kuoriin lisäämistä.

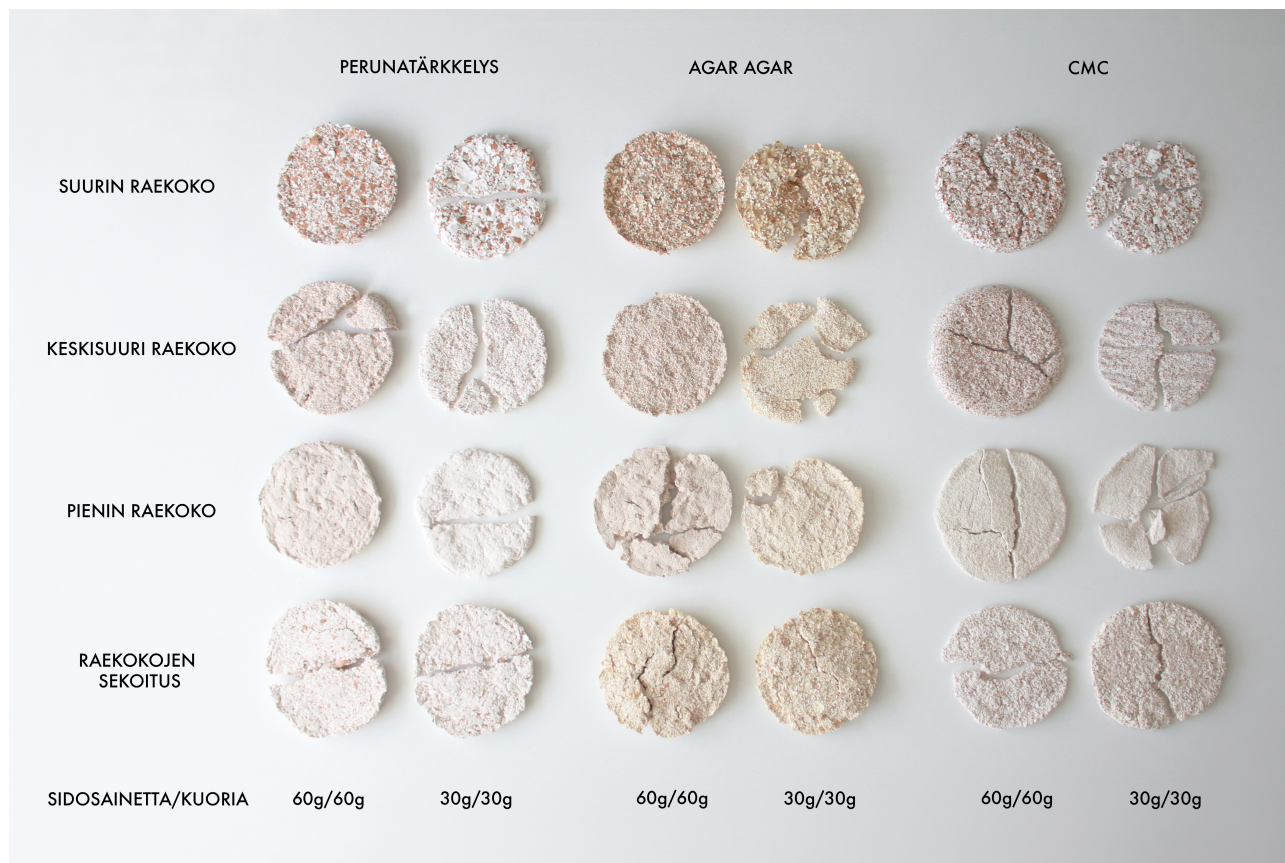
Karboksimetyyliselluloosaa eli CMC:tä sekoitin yhden ruokalusikallisen eli 15ml 4,5 desilitraan kylmää vettä. Ensimmäisellä kerralla lisäsin jauheen melkein kerralla veteen ja muodostui suuria paakkuja, kuten perunajauhon tapauksessakin. Toisella kerralla yritin lisätä jauheen veteen hyppysellisen kerrallaan, mutta jauhe meni silti pieniksi paakuiksi veden joukkoon. Annoin seoksen kuitenkin tekeytyä noin tunnin ja sillä aikaa paakut olivat lienneet pois ja seoksesta oli tullut paksumpaa. Tätä seosainetta ei tarvinnut keittää. Seoksen joukossa oli ilmakuplia, joita en saanut pois.



Kuva 2. Perunatärkkelys, agar agar ja CMC jauheina ja valmiina sidosaineina.

2.3 Koesarjojen valmistus

Valmistin kaikista yhdistelmistä ohuemman ja paksumman version. Ohuemmat palat olivat n. 0,3cm ja paksummat n. 0,5cm. Käytin paksummissa koepaloissa 60g kananmunan kuoria ja 60g sidosainetta. Ohuemmissa paloissa käytin 30g kuoria ja 30g sidosainetta. Koepaloissa, joissa oli sekaisin kaikkia raekokoja, oli paksummissa paloissa 20g jokaista raekokoa ja 60g sidosainetta ja ohuemmissa 10g jokaista raekokoa ja 30g sidosainetta. Kaikissa koepaloissa käytin muottina 12cm halkaisijaltaan olevia keraamisia kulhoja ja painelin seoksen sen pohjaan lusikan avulla. Koko koesarja kuvassa 3.



Kuva 3. Koesarja.

2.3.1 Perunatärkkelystä sisältävät koepalat

Perunatärkkelyksestä valmistettu sidosaineen sekoitus kuoriin vei aikaa, koska geeli oli niin paksua. Sidosaineen reseptiä muuttamalla siitä saisi ehkä juoksevampaa. Paksun sidosaineen hyvänä puolena oli se, että siitä ja kuorista muodostui seos, jota oli helppo muotoilla käsissä. Varsinkin pienimmän raekoon kanssa koostumus oli taikinamainen. Seosten painelu muotin pohjalle ei ollut niin helppoa, koska massa lähti venymään pois päin muotin reunoilta. Muotin pyöreä muoto auttoi kuitenkin tässä, sillä uskon, että massa olisi ollut vaikea saada teräviin kulmiin. Massan muotoilu ensin käsissä ja sitten lusikalla painelu auttoi saamaan sen muottiin.

Seoksilla kesti kuivua n. 2 vuorokautta. Jo toisena päivänä otin palat (kuva 4) pois muoteista nopeuttaakseni kuivumista, koska ne pitivät muotonsa hyvin. Kuivuneissa paloissa, erityisesti pienintä raekokoa sisältävissä paloissa, on ryppyjä, joka johtuu luultavasti siitä, että massa oli niin kiinteää, ettei se muotoutunut täydellisesti muotin reunoille ja pohjalle.



Kuva 4. Perunatärkkelystä sisältävät koepalat. Pala, jossa on sekaisin kaikkia raekokoja, pienintä raekokoa, keski suurta raekokoa ja suurinta raekokoa. Ylärivissä paksummat koepalat ja alarivissä ohuemmat.

2.3.2 Agar agaria sisältävät koepalat

Agar agarista valmistettu sidosaine piti sekoittaa kuoriin nopeasti ennen sen jäähtymistä. Seos oli tahmaista, mutta sen sekoittaminen kuoriin oli kuitenkin helpompaa, kuin perunatärkkelyksen. Massa oli helpompaa painella muottiin, koska se oli juoksevampaa, mutta vaarana oli, että massa olisi ehtinyt jähmettyä ennen muottiin painelua.

Palojen jäähtyessä ne alkoivat kiinteytyä heti. Otin myös nämä koepalat (kuva 5) pois muoteistaan jo muutaman tunnin jälkeen, sillä ne pitivät muotonsa hyvin. Ennen, kun palat olivat kunnolla kuivuneet, ne olivat hieman joustavia ja kumimaisia. Kaikki palat olivat kokonaan kovettuneet kahdessa vuorokaudessa, eivätkä ne enää olleet kumimaisia vaan kovia. Agar agaria sisältävät koepalat olivat vähän kellertävämmän värisiä verrattuna paloihin, joissa olin käyttänyt muita sidosaineita.



Kuva 5. Agar agaria sisältävät koepalat. Pala, jossa on sekaisin kaikkia raekokoja, pienintä raekokoa, keskisuurta raekokoa ja suurinta raekokoa. Ylärivissä paksummat koepalat ja alarivissä ohuemmat.

2.3.3 Karboksimeyylliselluloosaa sisältävät koepalat

CMC:stä valmistettu sidosaine oli kaikkein juoksevinta näistä kolmesta sidosaineesta. Se oli helppo sekoittaa kuoriin ja laittaa muottiin. Palat (kuva 6) alkoivat kuivuessaan tarttua kiinni muotteihin, joten otin ne irti yhden päivän jälkeen, kun niiden pohjat eivät olleet vielä kuivuneet kokonaan, jolloin sain ne vielä irti muoteista. Esimerkiksi silikonimuotti olisi siis parempi CMC:n kanssa. Palat olivat kokonaan kuivuneet kolmen päivän kuluttua massan laittamisesta muottiin.



Kuva 6. CMC:tä sisältävät koepalat. Palat, joissa on sekaisin kaikkia raekokoja, pienintä raekokoa, keskisuurta raekokoa ja suurinta raekokoa. Ylärivissä paksummat koepalat ja alarivissä ohuemmat.

2.3 Koesarjojen kestävyys testaus

Testasin koesarjojen kestävyttä laittamalla koepalan tulemaan puoliksi pöydän reunan yli. Laitoin pöydälle palan päälle painoa pitääkseni sen paikallaan ja roikutin palan ylimenevästä osasta narulla ämpäriä n. 0,5cm päästä pöydän reunasta. Laitoin ämpäriin vähitellen lisää painoa ja kirjasin ylös painon, joka sai palan halkeamaan. Nämä painot on kerrottu oheisessa taulukossa.

Osa paloista olisi kestänyt jopa yli 10 kiloa, mutta ämpäriin ei mahtunut enempää painoa, joten en voinut viedä kokeilua pidemmälle näiden palojen osalta. Ohuempi koepala, joka sisälsi pienintä raekokoja ja jonka sidosaineena oli CMC meni rikki jo, kun laitoin sen päälle painoa pitääkseni palan paikallaan.

Sidosaine	PERUNATÄRKKELYS		AGAR AGAR		CMC	
Paksuus	n. 0,3cm	n. 0,6cm	n. 0,3cm	n.0,6cm	n. 0,3cm	n. 0,6cm
Pienin raekoko	3,2kg	>10kg	3,1kg	3,6kg	0kg	3,7 kg
Keskisuuri raekoko	>10kg	6,5kg	8,5kg	>10kg	1,8kg	6,4kg
Suurin raekoko	3,9kg	>10kg	4,2 kg	>10kg	0,7kg	2,6kg
Sekoitus	6,5kg	4,8kg	5,8kg	4,2kg	1,8kg	3,7kg

Taulukko 1. Koepalat ja painot, jotka saivat palan hajoamaan.

3 TULOKSET

Vahvimmat sidosaineet kestävyyskokeiden perusteella olivat perunatärkkelys ja agar agar. Kun vertaa perunatärkkelystä sisältäviä paloja vastaaviin agar agaria sisältäviin paloihin huomataan, että perunatärkkelyksestä valmistetut palat ovat olleet kestävämpiä, lukuunottamatta suurinta raekokoa sisältäviä paloja ja paksumpaa palaa, jossa on käytetty keski suurta raekokoa. Suurinta raekokoa ja agar agaria sisältävistä paloista ainakin ohuempi oli kestävämpi, kuin vastaavan raekoon ja perunatärkkelyksen yhdistelmä.

Perunatärkkelyksen kohdalla tulokset ovat kuitenkin epä johdon mukaisia, koska esimerkiksi keski suuresta raekoosta valmistetuista paloista ohuempi kesti ainakin 10kg painon, mutta paksumpi vain 6,5kg. Tästä voidaan päätellä, että perunatärkkelyksestä valmistetuissa koepaloissa on enemmän rakenteellisia eroja, jotka ovat vaikuttaneet tulokseen. Perunatärkkelyksen sekoittaminen tasaisesti kuorien joukkoon oli hankalaa, joten se voi olla yksi syy näihin eroihin. Myös se, että painelin seokset muotteihin käsin, lisää rakenteellisten erojen mahdollisuutta koepaloissa. Voi olla mahdollista, että ohuimmat palat olivat ehtineet kuivua paksumpia paremmin, vaikka kaikki koepalat vaikuttivat kuivuneilta. Myös agar agar ja raekokojen sekoitusta sisältävien palojen tuloksessa on epä johdon mukaisuutta, sillä ohuempi versio on kestänyt 5,8kg, mutta paksumpi vain 4,2kg.

Heikoimmaksi sidosaineeksi osoittautui karboksimeetyyliselluloosa. Koepaloista, joissa oli sidosaineena CMC:tä, kestävin oli keski suuresta raekoosta valmistettu pala, joka hajosi 6,4kg painosta. Kun vertaa ohuempien ja paksumpien versioiden kestävyyttä toisiinsa, CMC:tä sisältävien palojen kestävyyskokeiden tulokset ovat johdon mukaisia, eli paksummat palat ovat jokaisen raekoon kohdalla kestäneet enemmän painoa, kuin ohuimmat. Tämä kertoo luultavasti siitä, että seos on ollut tasaisempaa näissä paloissa ja näin tulokset ovat luotettavampia.

Kun vertaillaan keskenään eri raekokojen vaikutusta kestävyYTEEN, olivat keski suuresta raekoosta tehdyt palat kestävimpiä. Ohuempi CMC:n ja keski suuren raekoon yhdistelmä kesti vain 1,8kg, mutta kaikki muut tämän raekoon palat kestivät yli 6kg. Pienimmästä raekoosta tehdyt palat kestivät 3,1-3,7kg lukuunottamatta paksumpaa tämän raekoon ja perunatärkkelyksen yhdistelmää, joka kesti jopa >10kg ja ohuempaa CMC:n ja pienimmän raekoon yhdistelmää, joka hajosi jo ennen painon lisäämistä. Raekokojen sekoitusta sisältävät palat eivät olleet erityisen kestäviä, mutta eivät heikkojakaan, joka oli oletettavissa, koska niissä yhdistyvät kaikkien raekokojen ominaisuudet.

Suurinta raekokoa sisältävien palojen kestävyys vaihteli paljon riippuen sidosaineesta. Ohuiden ja paksumpien palojen välillä oli paljon eroa suurta raekokoa sisältävissä paloissa varsinkin, kun sidosaineena oli perunatärkkelys tai agar agar. Näitä sidosaineita sisältävät ohuimmat palat kestivät n. 4kg ja paksummat jopa >10kg. Tämä johtuu luultavasti siitä, että kun levyn paksuus on pieni ja raekoko suuri, on yksittäisten rakeiden määrä palassa melko pieni ja tämä heikentää sen rakennetta.

Tutkimuksen tulokset munankuorikomposiitin kestävyYDEN osalta ovat alustavia, koska luotettavamman tuloksen saisi valmistamalla useita samanlaisia koesarjoja ja testaamalla niiden kestävyYttä. Olin kuitenkin yllättynyt siitä, kuinka kestäviä suurimmasta osasta koepaloja tuli.

Tutkimuksessa tuli ilmi kestävyyksien lisäksi tulevaisuuden projekteja ja käyttötarkoitusten pohtimista varten muita huomioita, kuten perunajauhon helppo muovattavuus sekoitusvaiheessa ja se, että sitä voisi käyttää myös ilman muottia. Muotin kanssa parhaiten toimi CMC sen juoksevuuden ansiosta, vaikkakin se alkoi tarttumaan muottiin kiinni. Eri raekoista tasaisimmat pinnat tulivat pienimmällä ja keskisuurella raekolla ja nämä muistuttavat keramiikkaa, kuten alkuperäisessä reseptissä oltiin kuvailtu. Suurinta raekokoa sisältävien palojen pinnassa oli enemmän tekstuuria. Yleisesti ottaen munankuorikomposiittia oli helppoa valmistaa erityisesti, kun oppi tuntemaan eri sidosaineiden käyttäytymistä koesarjoja valmistaessa.

LÄHTEET

Farmit.net, *Kananmunan koko ja kuoren laatu* (Luettu 26.3.2020)

<https://www.farmit.net/kotielain/kana/kananmuna/kananmunan-koko-ja-kuoren-laatu>

Kochhar, Midushi (2018) *Eggshell Composite 'Ceramic' Eg02* (Luettu 16.3.2020)

<https://materiom.org/recipe/122>

Lehto, Risto (2007). *Tärkkelyksen prosessointi laboratorio-olosuhteissa*. Tampereen ammattikorkeakoulu.

<https://docplayer.fi/51296055-Tarkkelyksen-prosessointi-laboratorio-olosuhteissa.html>

Turkki, Pekka (2018). *Selluloosa ja selluloosajohdannaiset elintarvikkeissa*. Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu.

<https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/156574/URNISBN9789523441156.pdf?sequence=1&isAllowed=y>